

Более подробную информацию о приведенных разработках можно посмотреть в журнале Сталь № 3, 2010 г., посвященном 80-летию ОАО «ВНИИМТ», а также на сайте [www.vniimt.ru](http://www.vniimt.ru).

УДК 669-5

**Б. Б. Зобнин, А. В. Вожегов, И. А. Ажипа**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,  
г. Екатеринбург, Россия

## **АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ**

### **Аннотация**

*Для формирования адекватной реакции систем управления рудоподготовительными комплексами на вариации свойств перерабатываемых руд предложено использовать агентно-ориентированный подход. В качестве приложения разработанной методологии решена задача синтеза эффективных рудоподготовительных технологических комплексов. Новизна технических решений подтверждена семью патентами РФ на изобретения.*

*Ключевые слова: мультиагентные системы, управление сложными технологическими комплексами.*

### **Abstract**

*To establish an adequate control systems reaction Ore-preparation complexes on property variations processed ores proposed use of the agent-oriented approach. As an application of the methodology to solve the problem of synthesis of Ore-preparation of effective technological complexes. The novelty of technical solutions family confirmed by RF patents for inventions.*

На современном этапе экономика России характеризуется высокой ресурсо- и энергоемкостью, в 2–3 раза превышающих удельную энергоемкость экономики развитых стран. Причинами такого положения, кроме суровых климатических условий и территориального фактора, являются сформировавшаяся в течение длительного периода времени структура промышленного производства и нарастающая технологическая отсталость энергоемких отраслей промышленности.

Анализ показывает, что качество отечественного железорудного сырья не соответствует уровню зарубежных конкурентов не только по содержанию железа, но и высокому содержанию диоксида кремния, повышенному содержанию оксидов натрия и калия, низкой основности и прочности окатышей.

Стабилизация качества руды, концентрата и продуктов окускования достигается рациональным управлением соответствующим технологическим режимом. Она также оказывает влияние и на экономику производства: уменьшение средних квадратичных отклонений ве-

щественного состава руд с 0,8 % до 0,4 % снижает затраты производства на 0,1–0,3 руб. на 1 т концентрата; снижение среднего квадратичного отклонения удельного расхода тепла на обжиг окатышей с 40 до 20 кДж/кг повышает удельную производительность обжиговой машины на 8–10 %; уменьшение выхода некондиционной продукции в аглопроизводстве на 2 % эквивалентно дополнительному выпуску 4 млн т в год высококачественного агломерата.

Существующие системы управления сложными технологическими комплексами класса MES характеризуются огромными объемами данных из распределенных, мало согласованных друг с другом, источников. Для их обработки и анализа предусмотрен внутрисистемный функционал. Неструктурированность и неоднородность этих данных делает задачу их обработки чрезвычайно трудоемкой. Она не может быть решена стандартными средствами самой системы в виду отсутствия адекватного решаемым задачам формального математического аппарата. Традиционные методы работы с реляционными данными плохо пригодны для настолько нерегулярных данных. В то же время традиционные «семантические» инструменты не обеспечивают нужной масштабируемости.

К сожалению, для большинства реальных задач использование классического подхода встречает непреодолимые препятствия, связанные со следующими проблемами: 1) при оптимизации необходимо учитывать показатели затрат, выраженные в виде эмпирических формул, например, для расчета стоимости жизненного цикла технологического комплекса и других параметров, множества разнородных условий и требований, диктуемых действующими нормами и правилами; 2) при классическом подходе невозможно учесть требования, которые носят субъективный характер и изменяются по мере продвижения процесса проектирования; 3) упомянутый классический подход не охватывает метауровня, без которого современная автоматизация проектирования неосуществима, а именно, уровня планирования алгоритмов оптимального поиска в пространстве допустимых значений.

Попытки использовать современные информационные технологии для управления сложными объектами наталкиваются на серьезные препятствия, обусловленные ограниченными возможностями получения экспериментальных данных, которые могли бы быть использованы для построения математических моделей объекта. В этой ситуации чрезвычайно возрастает роль априорной информации, вытекающей из фундаментальных закономерностей изучаемых процессов.

Одним из основных путей разрешения этой проблемы является разработка и внедрение мультиагентных систем управления горными и металлургическими комплексами. Особенность предлагаемого подхода к построению таких систем заключается в том, что на нижнем иерархическом уровне строятся агентно-ориентированные модели поведения ансамблей частиц в конкретном технологическом процессе, причем каждый из агентов следует своим собственным правилам, живет в общей среде и взаимодействует со средой и с другими агентами, а на верхнем иерархическом уровне, с учетом индивидуальной логики поведения агентов (участников процесса), решается задача идентификации глобального поведения технологического комплекса.

Для агентов характерно наличие элементов индивидуального поведения, от сложных (цели, стратегии) до самых простых (временные ограничения, события, взаимодействия).

Агент имеет возможность постоянного изменения сценария поведения без его изменения в родительском классе.

Предполагается, что обеспечены взаимодействия между агентами, когда один агент может выработать запрос к другому агенту на передачу некоторых данных или выполнение определенных действий. При этом задача разбивается на несколько подзадач, которые распределяются между другими агентами [1].

Предлагаемый подход решает проблему нехватки экспериментальных данных для решения задачи идентификации глобального поведения технологического комплекса, а также проблему отсутствия четких семантических определений для конкретной предметной области. Для разрешения этой проблемы необходимо составить единый словарь (таксономию) с описаниями используемых данных (онтологию). После составления такого словаря для представления данных предметной области можно с легкостью использовать язык web-онтологий OWL (Ontology Web Language), который является одним из самых последних разработок консорциума W3C в направлении Semantic Web для организации высокого уровня синтаксической и семантической способности приложений к взаимодействию.

Для систем подобного типа агентное моделирование является подходом более универсальным и мощным, так как оно позволяет учесть любые сложные структуры и схемы поведения. Другое важное преимущество агентного моделирования в том, что разработка модели возможна в отсутствии знания о глобальных зависимостях: мы можем знать очень немного о том, как вещи влияют друг на друга на глобальном уровне, или какова глобальная последовательность операций, и тому подобное, но, понимая индивидуальную логику поведения участников процесса, мы можем построить агентную модель и вывести из нее глобальное поведение [2].

Виды агентов определяются в соответствии с типичными функциями действующих лиц, участвующих в процессе по схеме «функция – агент».

Мультиагентные системы позволяют использовать нечеткую логику и интегрировать в единой модели известные соотношения в виде функций, материалы научных исследований, проведенных на объекте, а так же знания технологического персонала предприятия по управлению объектом.

Анализ системы отношений, характеризующих объект, позволяет определить пространственные и временные масштабы механизмов, инициирующих наблюдаемое поведение процессов, качественно охарактеризовать вклад статистического элемента в описание процесса, а также выявить принципиальную неоднородность наблюдаемых временных рядов [3]. Конфликтные ситуации вытекают из анализа отношений, характеризующих объект.

Отметим, что в дискретно-событийном (ДС) моделировании уже есть индивидуальные объекты (заявки), что облегчает задачу: они, естественно, и станут агентами. В ДС-моделировании, однако, заявки пассивны: ими управляют правила, определенные в блоках потоковой диаграммы (flowchart). Таким образом, «упражнение» состоит в том, чтобы посмотреть на процесс с точки зрения заявки и попытаться децентрализовать некоторые из правил. Опять же все это имеет смысл, только если мы собираемся учесть в агентной модели какие-то индивидуальные поведения, не выражаемые в терминах ДС-моделирования.

Использование мультиагентных систем (МАС) рационально в том случае, когда логично будет каждого из участников процесса представить в виде агента. Есть нечто, что объединяет все агентные модели: они существенно децентрализованы.

Аналитик определяет поведение на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает (emerges) как результат деятельности многих (десятков, сотен, тысяч, миллионов) агентов, каждый из которых следует своим собственным правилам, живет в общей среде и взаимодействует со средой и с другими агентами. Поэтому ограничимся рассмотрением систем, содержащих большое количество активных объектов (люди, машины, предприятия или даже проекты, активы, товары и т. п.), которые объединяет наличие элементов индивидуального поведения, от сложных (цели, стратегии) до самых простых (временные ограничения, события, взаимодействия).

В частности, при агентном моделировании процессов смешивания компонентов шихты в усреднительном штабеле каждая формируемая частица является агентом с индивидуальными свойствами, характеризующимися различными физико-химическими характеристиками. Агентные модели позволяют описать процессы обрушения, которые возникают не только на поверхности штабеля, но и вследствие трещинообразования внутри. Процесс обрушения зависит от того, как отдельные частицы материала взаимодействуют друг с другом в процессах падения и обрушения.

В качестве приложения разработанной методологии решена задача синтеза эффективных рудоподготовительных технологических комплексов, включающая в себя: преобразование структур эксплуатируемых комплексов в топологически упорядоченную последовательность технологических узлов; исследование пространства параметров и критериев эффективности с учетом технологических обратных связей, обусловленных рециклами; выбор направлений развития технологического комплекса для конкретного производства и конкретных узлов, требующих модернизации [4; 5]. Разрабатываемая методология обеспечивает существенное повышение энергоэффективности металлургической промышленности за счет стабилизации качества агломерата. Система управления рудопотоками и технологическим режимом работы агрегатов строится с использованием результатов контроля крепости руды и степени раскрытия минеральных зерен [6; 7]. Модель преобразования ансамблей отдельных частиц в процессе дезинтеграции используется для расчета технологических показателей.

В системе выделены следующие агенты: внешние – проект; технологический комплекс; прибор; норматив; система решение; система ремонт. Обязательной процедурой контроля является измерение. Измерение рассматривается как самостоятельный агент, который обладает независимой характеристикой – законом распределения погрешности.

Используется модельно-ориентированный подход к разработке программного обеспечения, суть которого состоит в построении абстрактной метамодели (модель, которая описывает структуру, принципы действия другой модели) управления и обмена метаданными (моделями) и задании способов ее трансформации в поддерживаемые технологии программирования. Такой подход позволяет определить структуру будущей документации на программное обеспечение, а также обосновать способы управления технологическим комплексом. Предлагаемый подход к построению физической основы модели заключается в использова-

нии «проектирования» сложного объекта в различные предметные области, используемые для описания исследуемого объекта. Каждая предметная область задает собственные системы ограничений на возможные «движения» объекта. Учет совокупности этих ограничений позволяет обосновать комплекс используемых моделей и построить непротиворечивую модель.

Построение «каркаса» модели, т. е. ее физической основы сводится к описанию системы отношений, характеризующих исследуемый объект, в частности, законов сохранения и кинетики процессов. Анализ системы отношений, характеризующих объект, позволяет определить пространственные и временные масштабы механизмов, инициирующих наблюдаемое поведение процессов, качественно охарактеризовать вклад статистического элемента в описание процесса, а также выявить принципиальную неоднородность (если она существует!) наблюдаемых временных рядов.

Аксиомы вычислений задают правила вычислений отношений. Для конкретного технологического комплекса необходимо установить систему отношений, характеризующих исследуемый объект, для предварительной оценки детерминированных и статистических составляющих в наблюдаемых процессах. В частности, законов сохранения, наличия гомогенизаторов в составе технологических комплексов и т. д. Анализ системы отношений, характеризующих объект, позволяет определить пространственные и временные масштабы механизмов, инициирующих наблюдаемое поведение процессов; качественно охарактеризовать вклад статистического элемента в описание процесса, а также выявить принципиальную неоднородность наблюдаемых временных рядов [3]. Конфликтные ситуации вытекают из анализа отношений, характеризующих объект. После того как сформулированы аксиомы идентификации и вычислений, решается задача планирования вычислений.

Аксиомы оптимизации, обеспечивающие решение задачи энергетической эффективности с учетом расходов на эксплуатацию, энергию, ремонт. Задача оптимизации, в общем случае, является многокритериальной, а критерии –противоречивы. В теории математического программирования такая задача ставится как векторная задача оптимизации с ограничениями.

На этапе проектирования горного предприятия с учетом изменчивости свойств руды по физико-минералогическим свойствам, отображенной в геологической модели месторождения, необходимо обосновать схему усреднения руды, обеспечивающую выполнение требований к стабильности качества готовой продукции. В постановке задачи необходимо учесть, что существует диапазон частот колебаний содержания железа в руде, при котором существенно снижается извлечение железа в концентрат.

В интеллектуальной системе управления процессом рудоподготовки, наряду с традиционным контуром управления, появляются принципиально новые части: динамическая экспертная система и база знаний реального времени, накапливающая текущие знания о внешних и внутренних процессах, учитывающая знания оператора и снабжающая имеющимися знаниями экспертную систему [8].

### Список использованных источников

1. Зобнин Б. Б., Вожегов А. В. Мультиагентные системы. Управление сложными технологическими комплексами // LAP, ISBN:978-3-659-51978-9, 2014.
2. Борщев А. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta PRO, № 3–4 (7–8) 2004. С. 38–47.
3. Зобнин Б. Б. Подходы к прогнозированию процессов в природных и природно-технологических комплексах // Вероятностные конструкции и их приложения: сборник научных трудов. Екатеринбург: УГТУ, 1998. С. 135–141.
4. Зобнин Б. Б., Доронин Д. Н., Основин А. В. Прогнозирование влияния состояния технологического оборудования на показатели технологического процесса // Сталь, 2006. С. 25–28.
5. Математическая модель оценки технико-экономических потерь, возникающих в процессе эксплуатации агломерационных машин / Б. Б. Зобнин, Ю. А. Малыгин, И. В. Вожегов, А. А. Вяткин // Промышленные печи и трубы, 2007. № 4.
6. Способ управления процессом магнитного обогащения железных руд: а.с. № 1349793, В03 В13/04, В03 С 1/00 / Б. Б. Зобнин, И. П. Богданова, Ю. М. Казаков; опубл. 07.11.87. Бюл. № 41.
7. Устройство для автоматического управления процессом дробления материала: патент на изобретение №2204438 / Б. Б. Зобнин, В. М. Куркин, В. А. Боровков, А. Г. Народницкий, В. Н. Леушин; заявл. № 2001125199 от 14.09.01.
8. Zobnin B., Yendiyarov S., Petrushenko S. Expert system for sintering process control based on the information about solid-fuel flow com Position // Proceedings of Word Academy of Science, Engineering and Technology. France. Issue 68. August 2012. Pp. 861–868 (SCOPUS).